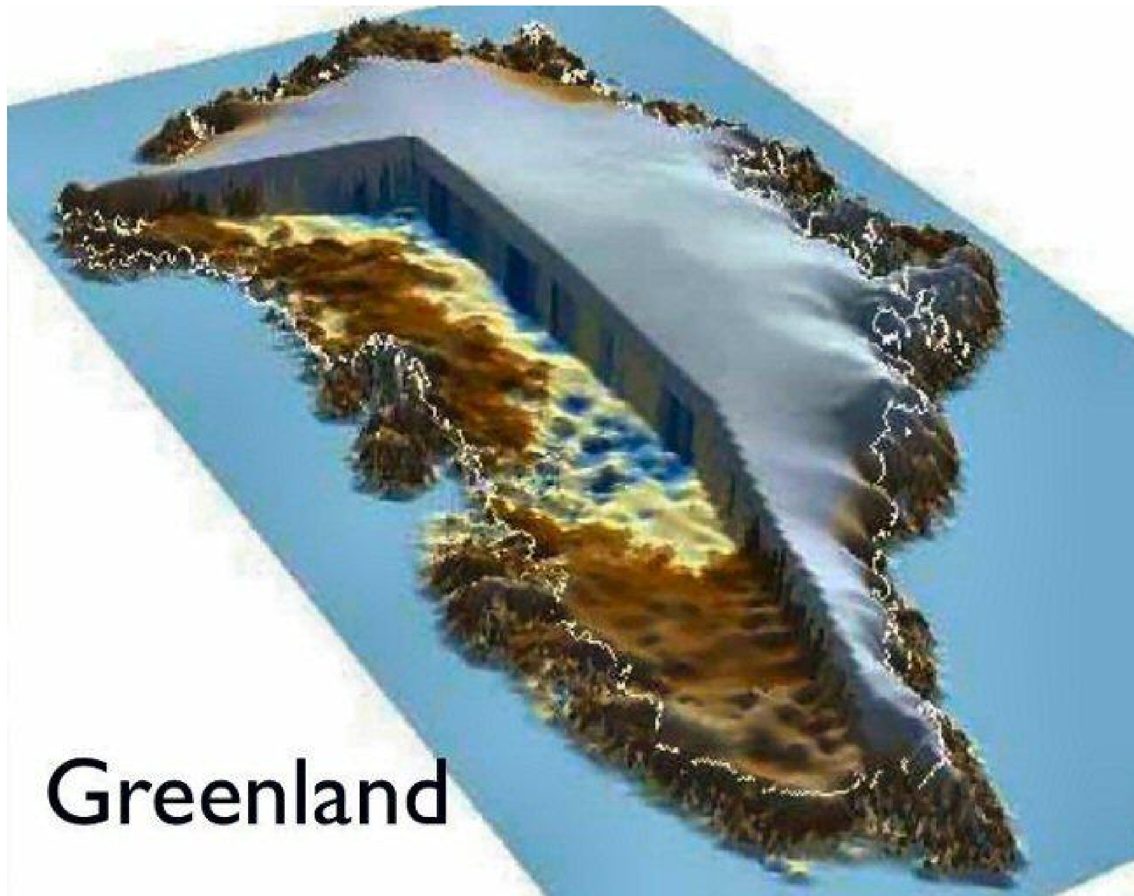
EL CALENTAMIENTO GLOBAL ACELERA EL DESHIELO DE GROENLANDIA POR ARRIBA Y POR DEBAJO (2ª PARTE)

Luis Lluna Reig

Marzo de 2017



Datos de la capa de hielo de Groenlandia (aproximadamente el 80% de la totalidad de la isla)

Superficie: 1.710.000 km² — **Casi igual a las de Portugal, España, Francia, Suiza, Bélgica, Países Bajos y Alemania juntas**

Longitud: 2.400 km

Ancho: 1.110 km

Espesor: 2.000 – 3.000 m

EL DETERIORO DEL FIRN DE LA CAPA DE HIELO DE GROENLANDIA CONTRIBUYE A INTENSIFICAR SU DESHIELO, ACELERANDO EL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR Y LA RALENTIZACIÓN DE LA CORRIENTE TERMOHALINA

Firn o **nieve firn** (del dialecto suizo-alemán: "*del año pasado*") es una nieve parcialmente compactada, un tipo de nieve que ha quedado de inviernos pasados y se ha recristalizado hasta formar una sustancia más densa que la nieve fresca. Es hielo que se encuentra en un estado intermedio entre nieve y hielo glacial. El firn tiene el aspecto de azúcar húmedo, es de una dureza que hace muy difícil penetrarlo con una pala. En general su densidad es superior a 550 kg/m³ (0,550 g/cm^3), y a menudo se encuentra bajo la nieve que se acumula en la cabeza de un glaciar.

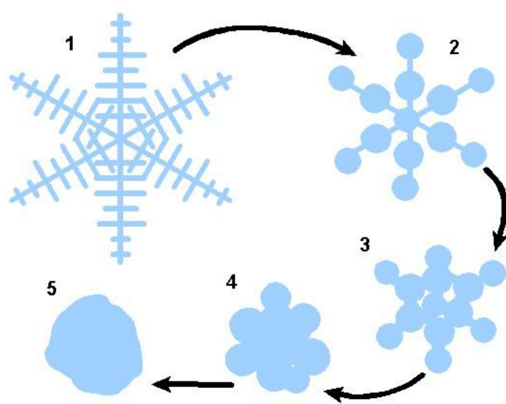
FUENTE: FIRN, WIKIPEDIA



FIRN

TRANSFORMACIÓN DE LA NIEVE EN FIRN Y FINALMENTE EN HIELO GLACIAL

El punto de fusión del hielo a presión atmosférica normal es 0 ºC, pero basta un pequeño aumento de presión para que esta temperatura descienda y el hielo inicie su fusión. La presión generada por nuevo apilamiento de nieve encima de la vieja incrementa la presión sobre esta última causando su fusión parcial.



La fusión tiene lugar en los puntos de contacto – específicamente los alargados “brazos” de los **cristales hexagonales de hielo (copos de nieve)** (**#1** en el diagrama)--. Cuando las diminutas protuberancias se derriten por efecto del incremento de presión, la tensión superficial empuja el agua hacia dentro, hacia el centro del cristal. Tan pronto como se ha alejado del punto de contacto el agua se recongela (#2 en el diagrama). El proceso continúa (#3), concentrándose la masa de agua en posición más próxima al centro del original copo de nieve. En algún momento (**#4**) el hielo ha perdido su forma original de copo de nieve y se ha convertido en un redondeado **GRÁNULO DE HIELO**. Un estrato constituido por estos gránulos se denomina **FIRN**. A mayor presión (más profundamente enterrados por acumulación de nieve en la superficie) los granos de firn se fusionan y se transforman en una masa sólida de cristalino **HIELO GLACIAL** (**#5**). El proceso de transformación de la nieve en hielo glacial depende de la temperatura y precipitación pudiendo durar milenios.

FUENTE: Geology 1121 – Physical Geology. Earth Material, Processes, Environments Dr. Carter http://itc.gsw.edu/faculty/bcarter/physgeol/glac/firn.htm





Copo de nieve

(Izquierda) Micrografía electrónica de barrido del firn del glaciar de South Cascade, Alaska, aumento de 80x. Puede advertirse la gran porosidad del firn.

Laboratorio de Microscopía Electrónica y Confocal, Servicio de Investigación Agrícola, EE.UU., Departamento de Agricultura

FUENTE: The Editors of Encyclopaedia Britannica https://global.britannica.com/science/firn

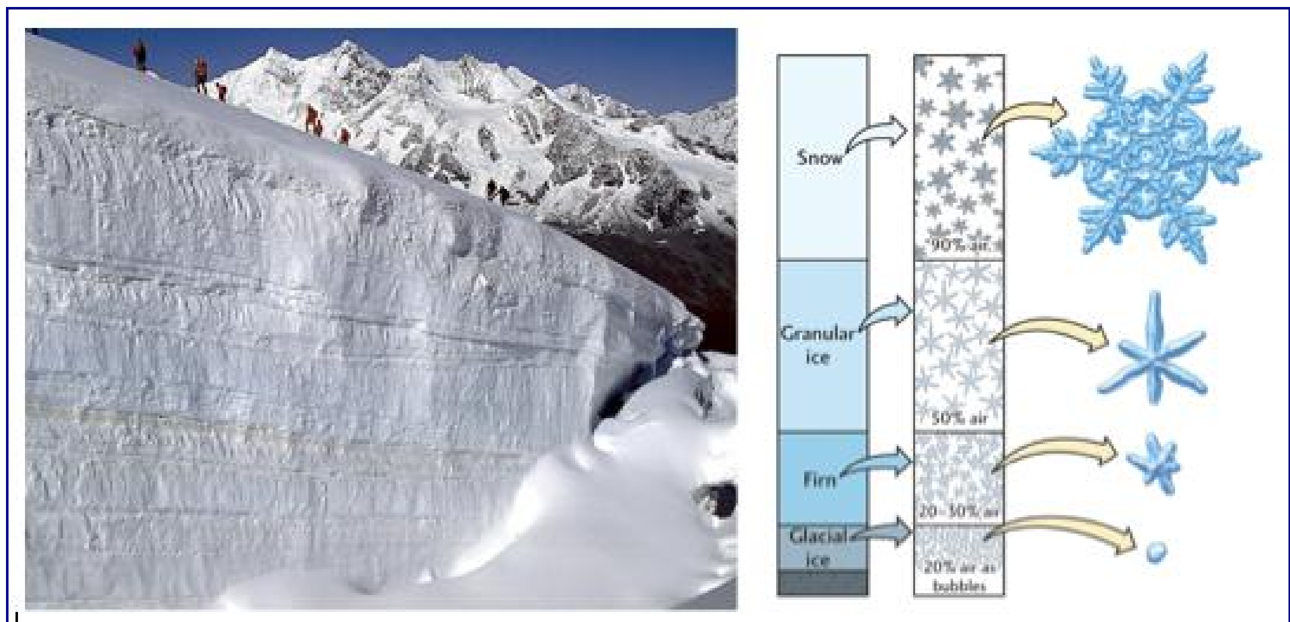


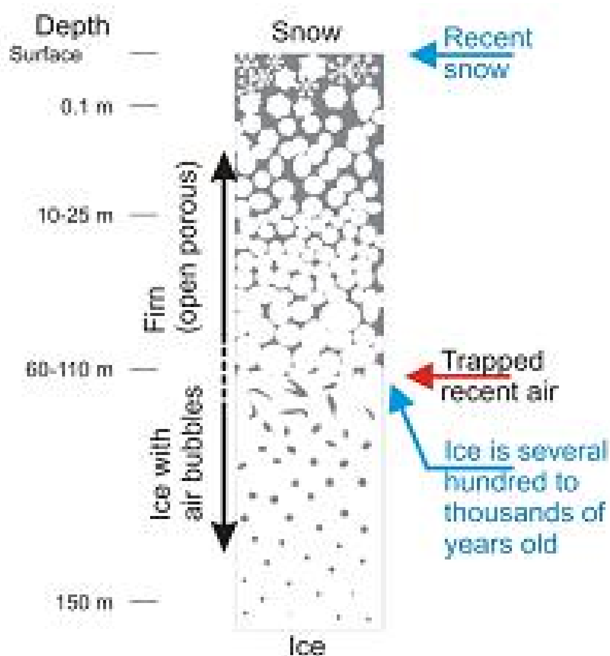
Figura (derecha, de arriba a abajo): **nieve** (snow), 90% de aire; **hielo granular** (granular ice), 50% de aire; **firn**, 20-30% de aire; **hielo glacial** (glacial ice), 20% de aire en burbujas

FUENTE: OnCirculation. The journey of a snowflake – from snow to ice
https://oncirculation.com/2013/07/23/the-journey-of-a-snowflake-from-snow-to-ice/

En la zona del firn, el aire puede moverse con relativa libertad y, por consiguiente, tener intercambios con el aire atmosférico. Esto tiene dos consecuencias importantes:

La concentración en el firn de cada espécimen de gas cambia en relación con la concentración atmosférica debido a procesos físicos (y en el caso de gases reactivos también procesos químicos).

La edad del gas contenido en una burbuja de aire ocluida es menor que la edad del hielo circundante.



La densidad del firn en la superficie es aproximadamente de 350 kg/m^3 (0,350 g/cm^3) lo que corresponde a una porosidad de un 60-70% (lo que significa que el 60-70% del volumen es aire). El firn es compactado por el peso de las capas superpuestas y como resultado de la difusión del vapor de agua. Desde la superficie y hasta que alcanza una densidad de aproximadamente 550 kg/m^3, la transformación de nieve en hielo está dominada por la reorganización de los granos del firn para llegar a un empaquetamiento de mayor densidad. Los cristales individuales, que poseen una temperatura cercana a la de fusión son semilíquidos, permitiendo su deslizamiento sobre los planos cristalinos y el relleno de los espacios entre ellos, aumentando así la densidad del hielo. Incluso a mayores profundidades (y densidades), la simple reorganización de los granos no produce un significativo aumento de densidad. Aquí la sintetización y deformación plástica son los procesos de transformación más importantes. Cuando se alcanza una densidad de 800 kg/m^3, los poros son comprimidos gradualmente hasta que se forman en el hielo burbujas de aire que quedan atrapadas en el hielo o son empujadas hacia la superficie. Esta zona se denomina la transición firn-hielo y comprende aproximadamente el 10% inferior de la totalidad de la columna del firn. Dependiendo del lugar (especialmente la temperatura y la cantidad de nieve caída), la zona del firn puede tener un espesor de entre 50 y 150 m.

En la figura de arriba, se representa la sección de una columna de la capa de hielo hasta los 150 m de profundidad. En la superficie se encuentra la ***nieve reciente***. La parte comprendida entre los 0,1 m y los 10-25 m es el ***hielo granular***. La comprendida entre los 10-25 y los 60 m es el ***firn***, en él los poros del hielo permanecen abiertos. La zona que se extiende entre los 60 y 110 m es la ***transición firn-hielo***. Y por debajo, hasta los 150 m, se encuentra el ***hielo compactado*** con burbujas de aire.

FUENTE: *The firn zone: Transforming Snow to ice*, Center for Ice and Climate, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen

http://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/research/drill_analysing/cutting_and_analysing_ice_cores/analysing_gasses/firn_zone/

El Servicio Geológico de Dinamarca y Groenlandia (Geological Survey of Denmark and Greenland) (**GEUS** por sus siglas en danés) publicó online el 4 de enero de 2016 un estudio en el que se explica el mecanismo por el que en el interior de la capa de hielo de Groenlandia se está liberando el agua de fusión a una tasa más rápida de lo que anteriormente se había previsto.

Este estudio está basado en el artículo ***Greenland meltwater storage in firn limited by near-surface ice formation*** *(En Groenlandia el almacenamiento en el firn del agua de fusión resulta limitado por la formación de hielo próximo a la superficie), Machguth, H., M. MacFerrin, D. van As, J. E. Box, C. Charalampidis, W. Colgan, R. S. Fausto, H. A. J. Meijer, E. Mosley-Thompson and R. S. W. van de Wal (2015),* publicado online en Nature Climate Change.
nature.com/articles/doi:10.1038/nclimate2899

En el Abstract (Resumen) de este artículo se dice:

Aproximadamente la mitad de la actual pérdida anual de masa de Groenlandia se atribuye a la escorrentía por la fusión de la superficie. A grandes altitudes, sin embargo, la fusión no es necesariamente igual a la escorrentía porque el agua de fusión puede recongelarse en los poros de la nieve y firn próximos a la superficie. Dos recientes estudios sugieren que toda o la mayor parte de la zona porosa del firn de Groenlandia está disponible para el almacenamiento del agua de fusión, haciendo del firn un importante amortiguador [que actúa] en contra de la contribución [de la fusión de la capa de hielo] al ascenso del nivel del mar durante décadas. Aquí, hacemos uso de observaciones *in situ* y datos históricos para desmostrar que la escorrentía superficial empieza a dominar sobre el almacenamiento del agua de fusión mucho antes de que la zona porosa del firn se llene completamente. Nuestras observaciones encuadran los recientes veranos de excepcional fusión en 2010 y 2012, que revelan cambios importantes a diferentes altitudes en la estructura del firn provocados por sucesivos fenómenos de intensiva fusión. En las regiones superiores (a más de, aproximadamente, 1.900 m sobre el nivel del mar), el firn ha sufrido una sustancial densificación, mientras que a niveles inferiores, donde la fusión es más abundante, el poroso firn ha perdido la mayor parte de su capacidad para retener el agua de fusión. Aquí, la formación de estratos de hielo próximos a la superficie dificulta el acceso a la zona porosa profunda, forzando al agua de fusión a entrar en un eficiente sistema de descarga superficial, intesificándose la pérdida de masa de la capa de hielo antes de lo que se había sugerido anteriormente.

Taducción nuestra.   Nota.- Se han suprimido las cifras de referencias.

El estudio publicado por el GEUS de Dinamarca el 4 de enero de 2016 lleva por título:

Noticias del GEUS. Mecanismo de una más rápida liberación del agua de fusión en la capa de hielo de Groenlandia.

http://www.geus.dk/cgi-bin/webbasen_nyt.pl?id=1451908042&cgifunction=form

Traducción nuestra

En un nuevo estudio publicado por investigadores de Dinamarca y EE.UU. en Nature Climate Change se expone que en los denominados estratos de firn del interior de la capa de hielo de Groenlandia se está liberando el agua de fusión a una tasa más rápida de lo que previamente se había calculado. El estudio pone de manifiesto que el reciente calentamiento atmosférico está disminuyendo la capacidad de los estratos de firn próximos a la superficie para almacenar agua de fusión, de lo que resulta una liberación más rápida del agua de fusión de la capa de hielo.

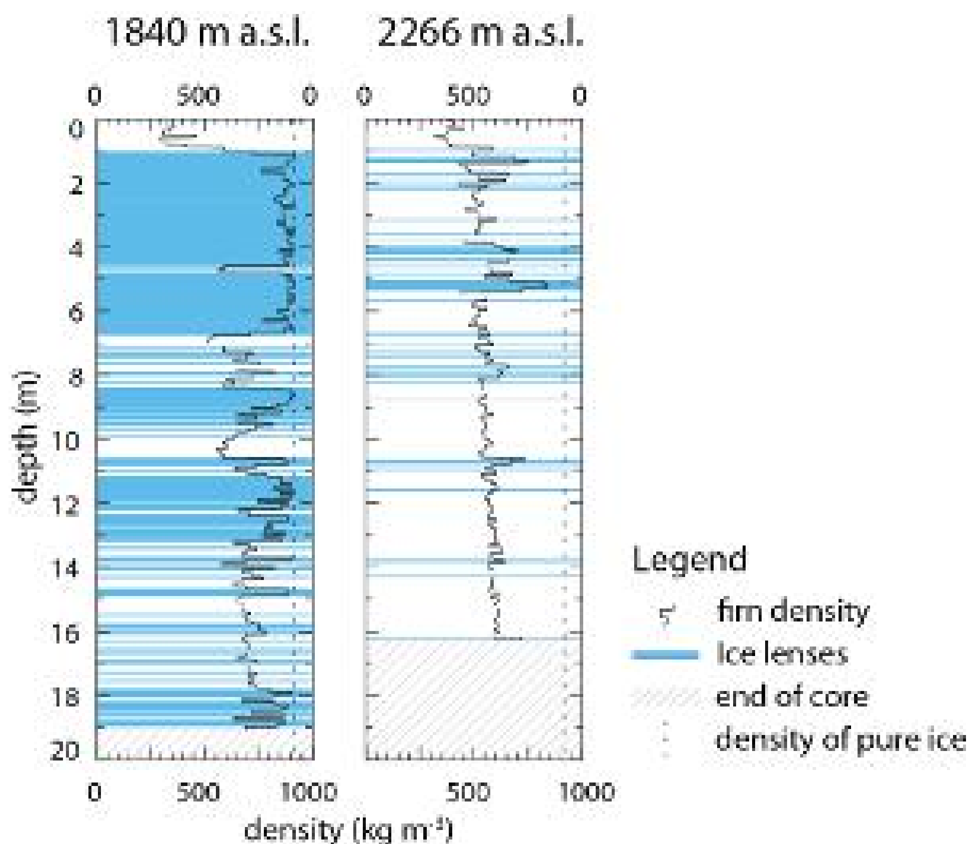
“Básicamente nuestra investigación muestra que el firn reacciona rápidamente al cambio climático. Su capacidad para limitar la pérdida de masa de la capa de hielo reteniendo el agua de fusión podría ser menor de lo que anteriormente se había supuesto”, dice Horst Machguth del Servicio Geológico de Dinamarca y Groenlandia, que es el autor principal del estudio.



Ríos de agua de fusión en la capa de hielo de Groenlandia, 13 de agosto de 2012
Fotografía: Ward Gorter and Paul Smeets, Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU), Utrecht, The Netherlands.



Ríos de agua de fusión en la capa de hielo de Groenlandia
Fotografía: Dirk van As, Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Copenhagen, Denmark.



Medidas de estratigrafía y densidad en dos núcleos de firn. El núcleo a 1.840 m sobre el nivel del mar (izquierda) muestra las masivas lentes de hielo de varios metros de espesor; el núcleo a 2.266 m sobre el nivel del mar (derecha) muestra firn que se encuentra sometido solamente a una fusión limitada por lo que contiene pocas lentes de hielo (las áreas en blanco de ambos gráficos indican un firn poroso normal).

[*firn density* (densidad del firn); *ice lenses* (lentes de hielo); *end of core* (final del núcleo); *density of pure ice* (densidad del hielo puro); *depth* (profundidad); *a.s.l. (above sea level)* (*sobre el nivel del mar*)]

[**Nota nuestra**.- En la imagen, figura en ordenadas la profundidad de los núcleos de firn hasta 20 m; en abscisas, la densidad. Las líneas oscilantes en negro que van de arriba a abajo representan las densidades de ambos núcleos (escala de abscisas). En el núcleo a 1.840 m s. n. m. (metros sobre el nivel del mar) (izquierda), la densidad desde 1 hasta 7 m de profundidad es aproximadamente de 900 kg/m^3, muy elevada debido a las lentes de hielo formadas por la intensiva fusión del firn y ulterior recongelación. Por el contrario, en el núcleo a 2.266 m s. n. m. (derecha) la densidad entre 1 y 16 m se mantiene por debajo, aproximadamente, de 600 kg/m^3, sobrepasando este valor solamente en algunas delgadas lentes de hielo. Los gruesos estratos de lentes de hielo próximos a la superficie en el núcleo a 1.840 m impiden la percolación y subsiguiente acumulación del agua de fusión y provocan la caudalosa ecorrentía superficial en la capa de hielo durante los meses de verano.]

[**Nota nuestra**.- **Percolación**. En física, química y ciencia de los materiales, **percolación** se refiere al paso lento de fluidos a través de los materiales porosos, ejemplos de este proceso es la filtración y la lixiviación. Así se originan las corrientes subterráneas. Por ejemplo, el movimiento de un solvente a través de papel filtro, el movimiento de petróleo a través de una roca fracturada y el traspaso del agua superficial que se infiltra a las aguas subterráneas. La **lixiviación**, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido, por ejemplo, el azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente.]
[**FUENTE**: Wikipedia]

Los científicos investigaron el impacto del reciente calentamiento global sobre la estructura de los estratos de nieve y hielo próximos a la superficie, el denominado firn, en la capa de hielo de Groenlandia. En el curso de tres expediciones en 2012, 2013 y 2015, los investigadores recorrieron varios cientos de kilómetros de la capa de hielo para trazar la estructura de los estratos del firn con una unidad de radar que penetra en el hielo y obteniendo por perforación núcleos de firn poco

profundos regularmente espaciados.

Horst Machguth explica: “La zona próxima a la superficie del interior de la gran capa de hielo está compuesta de nieve que lentamente se transforma en hielo glacial. Este estrato de firn poroso puede tener un espesor de más de 80 m. Investigaciones precedentes pusieron de manifiesto que el firm actúa como una esponja, y almacena agua de fusión que percola hacia abajo desde la superficie recongelándola para formar estratos de hielo. Pero después que la capa de hielo de Groenlandia fuera azotada por una serie de veranos calurosos, se ignoraba como reaccionaría el firn a las excepcionales cantidades de agua de fusión. Nuestra investigación tenía como objetivo esclarecer si realmente el firn era capaz de retener el agua de fusión, o si la esponja había sido sobrepasada”.

Los científicos obtuvieron por perforación varios núcleos de 20 m como muestras del firn, además perforaron en lugares en los que 15 o 20 años antes se habían obtenido núcleos similares En muchos sitios, la comparación de los núcleos nuevos y viejos reveló que la cantidad de estratos de hielo recongelados en el firn había realmente aumentado sustancialmente en las décadas pasadas, de acuerdo con la teoría de la esponja. Este comportamiento a modo de esponja, sin embargo, no se encontró en todas partes. Núcleos obtenidos a altitudes menores indicaban que la reciente producción excepcional de agua de fusión había percolado en el firn solamente hasta pequeñas profundidades, agregándose en masivos estratos de hielo directamente bajo la superficie de la capa de hielo.

“Parece que el firn fue sobrepasado por la fusión hasta tal grado que se formaron muchas lentes de hielo que empezaron a impedir la percolación del agua de fusión posterior. Inicialmente pequeñas lentes de hielo fueron creciendo hasta formar estratos de varios metros de espesor que actuaron como una tapa en la parte superior de un firn que de lo contrario hubiera funcionado como una esponja. Medidas de radar indicaron que estas masivas lentes de hielo se extendían de forma continua a lo largo de decenas de kilómetros”, manifiesta Dirk van As, un coautor del estudio del Servicio Geológico, y continúa:

“El agua de fusión superficial trata de recongelarse en la zona del firn, lo que logra a altitudes superiores, pero en las inferiores choca contra esta tapa de hielo y tiene que permanecer en la superficie, donde se acumula”. Imágenes satelitales de veranos recientes muestran que el agua de fusión formaba ríos en la superficie que fluían hacia el borde de la capa de hielo.

“En vez de almacenarse el agua de fusión en el poroso firn, este mecanismo, por el contrario, aumenta la escorrentía de la capa de hielo”. Dice Mike MacFerrin, segundo autor del trabajo, de la Universidad de Colorado en Boulder. “Este proceso no se había observado anteriormente en Groenlandia. No se conoce la extensión total de esta tapa de hielo que bloquea el firn de la capa. Por esta razón, la cantidad adicional de escorrentía de la capa de hielo asociada a este proceso recientemente observado no puede ser todavía cuantificada”.

Cambios similares en la estructura del firn han sido observados en varias capas de hielo del vecino Ártico canadiense, lo que lleva a la conclusión de que este fenómeno podría ser general en Groenlandia. “Para investigar esto, estamos combinando nuestros datos de núcleos con mediciones de teledetección de la NASA que cubren la totalidad de la capa de hielo”, explica MacFerrin.

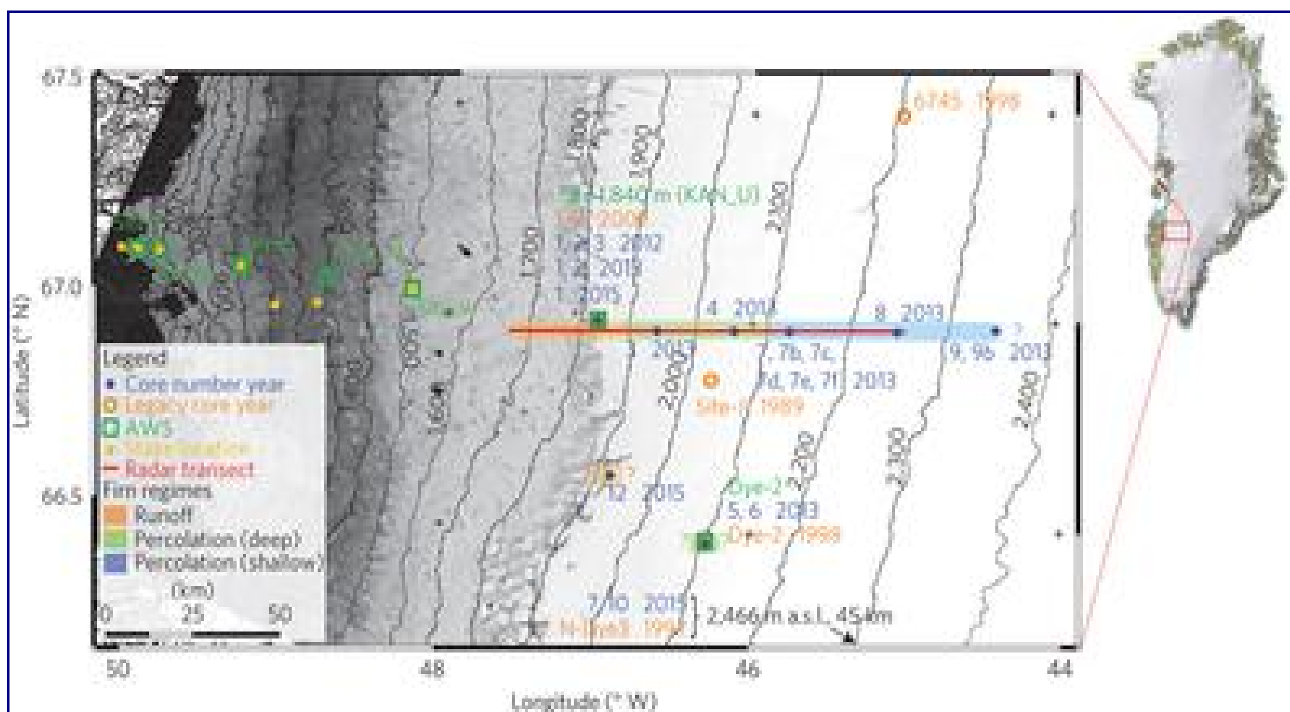
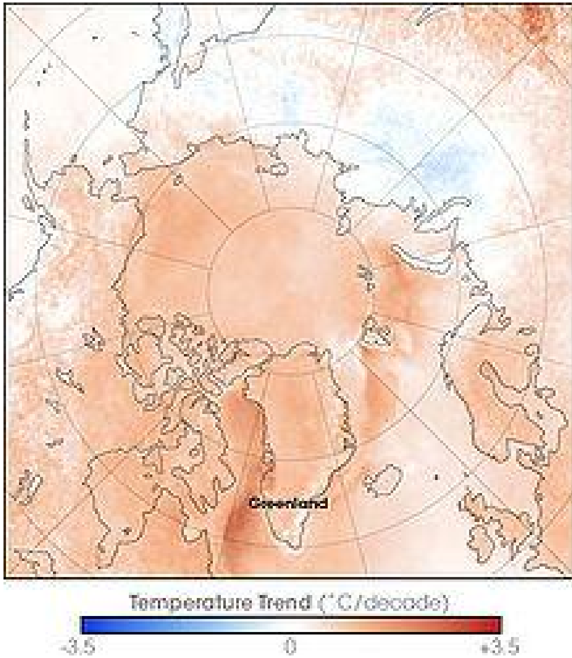


Figura: Mapa en el que se indican las localizaciones de los núcleos de firn y el transecto principal del radar.

Los núcleos recogidos en este proyecto están en azul; los núcleos del legado histórico, en naranja; las estaciones meteorológicas automáticas están indicadas en verde. En el fondo se encuentra una imagen pancromática del Landsat 7 del 16 de julio de 2012, cortesía de USGS/NASA.

[Nota nuestra**: El transecto** es el trayecto a lo largo del cual se realizan las observaciones o se toman las muestras para un proyecto científico de investigación.]



TENDENCIA DEL ASCENSO DE TEMPERATURA EN EL ÁRTICO DE 1981 A 2007

En zonas del Ártico y del oeste de Groenlandia puede observarse que el ascenso de tempertura está entre 3 y 3,5° C



Aceleración de la fusión del hielo en Groenlandia

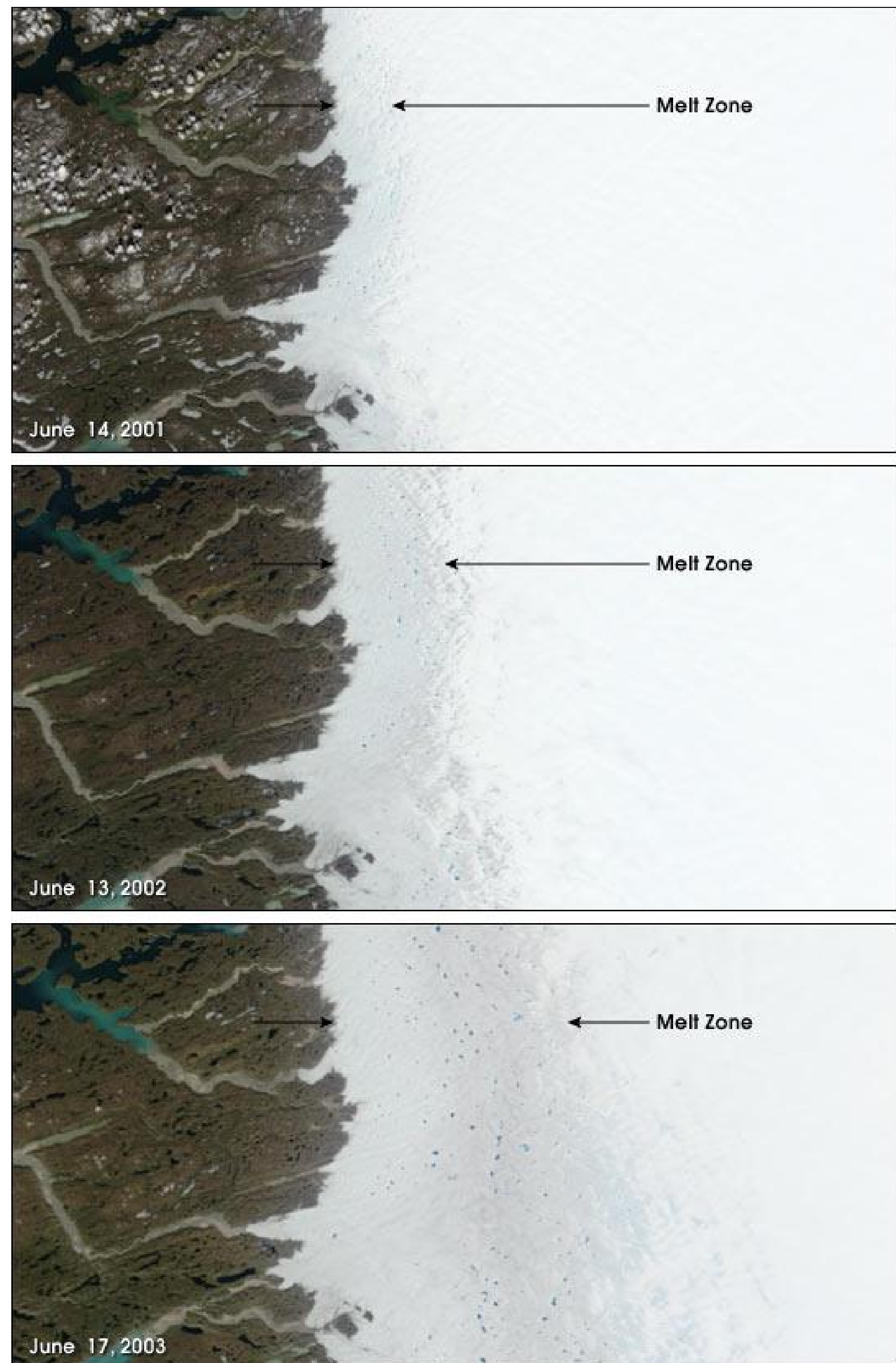
Gran parte del hielo, por la rápida fusión debida al calentamiento global y, especialmente, el notable incremento de temperatura en la zona ártica, ha perdido capacidad de absorción, y por ello el agua de deshielo está generando ríos que van a parar directamente al mar, o bien en las depresiones forman enormes lagunas que terminan por vaciarse en pocas horas al abrirse grandes agujeros (*moulins*) en el fondo.

El agua de los ríos también se abre camino hasta el lecho de roca que puede encontrarse hasta 700 y más de mil metros por debajo. El agua de fusión, a más de cero grados centígrados, funde el hielo y va abriendo unos grandes agujeros llamados *molinos* (moulins) que terminan por alcanzar el lecho de roca. El agua fluye luego entre el fondo de la masa de hielo y el lecho de roca, y al llegar a la base de los glaciares costeros hace que la separación entre esta base de la masa del hielo glaciar y el lecho de roca aumente, de esta manera la resistencia al deslizamiento de la lengua glaciar disminuye, y esta incrementa su velocidad de descenso hacia al mar, donde se fragmenta formando icebergs. Este es uno de los procesos a los que se atribuye el rápido incremento del deshielo de Groenlandia descubierto en los últimos años.

Figura de la derecha: Tres imágenes sucesivas de una región del borde oeste de la capa de hielo de Groenlandia tomadas en el mes de junio de 2001, 2002 y 2003. Aunque el borde de la capa no muestra signos de haber cambiado de posición, la extensión de la "zona fundida" --la zona translúcida sembrada de charcas de agua de fusión-- a lo largo del borde se ha incrementado considerablemente. **La pérdida de hielo de los glaciares en Groenlandia se ha duplicado entre 1996 y 2005.**

(Las imágenes son cortesía de Jacques Descloitres, Servicio de Respuesta Rápida Terrestre, (NASA/GSFC)

[melt zone = zona fundida]



FUENTE: Artículo *Ascenso del Nivel del Mar, después de la Fusión del Hielo y en la Actualidad (Sea Level Rise, After the Ice Melted and Today)*, por la Dra. Vivien M. Gornitz, de la Universidad de Columbia y el Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) de la NASA, publicado online en enero de 2007.

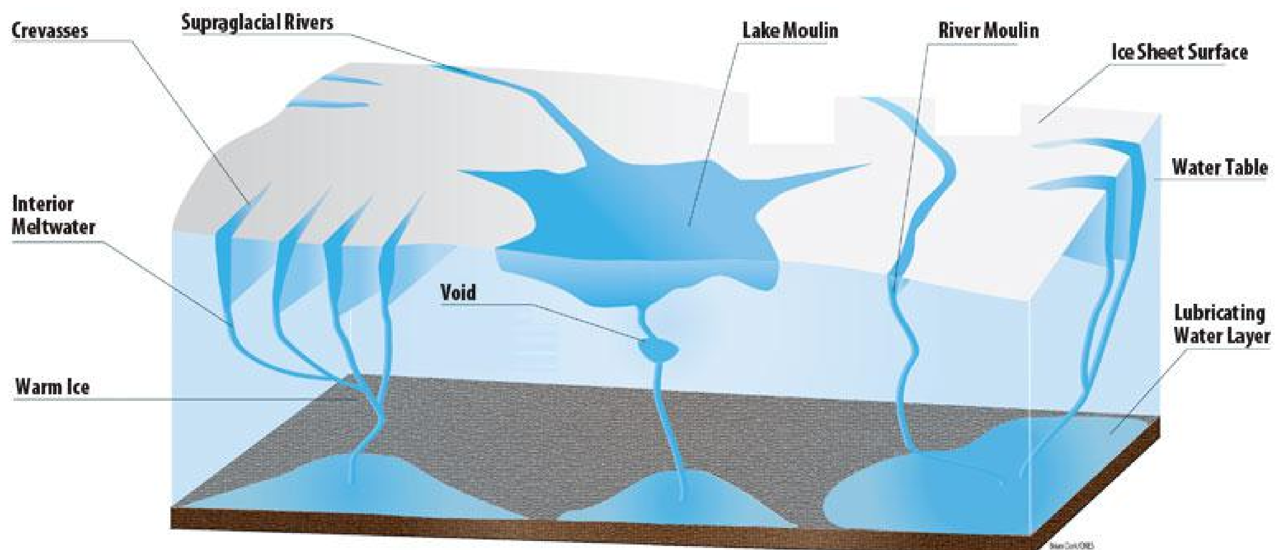
https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/gornitz_09/



Los llamados “molinos” (moulins) por los que se abre camino hasta el lecho rocoso el agua de los ríos, grietas y lagunas que se formaron en la superficie por la fusión del hielo



Ríos originados por la fusión del hielo fluyen sobre la capa de hielo de Groenlandia. August 13 2012. Photo: Ward Gorter and Paul Smeets, Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU), Utrecht, The Netherlands.



El agua procedente de la fusión del hielo, fusión cada vez más intensa por el calentamiento global, se precipita hasta el lecho rocoso que se encuentra bajo la gran masa de hielo a través de molinos (*moulins*) formados en el fondo de grietas (*crevasses*), lagunas (*lakes*) o ríos (*rivers*). Luego, desplazándose sobre el lecho de roca, el agua de fusión alcanzará en profundidad la base de las lenguas glaciares acelerando su descenso hacia el mar o bien directamente desaguará en el océano por una zona costera.



GROENLANDIA SE DESHIELA

UN RÍO ORIGINADO POR LA FUSIÓN DEL HIELO FLUYE SOBRE LA CAPA DE HIELO DE GROENLNDIA



NO SON LAS CATARATAS DEL NIÁGARA, ES UN MOLINO DE GROENLANDIA



RÍO DESAGÜANDO EN UN MOLINO. EL AGUA DESCENDERÁ HASTA EL LECHO DE ROCA Y TERMINARÁ DIRECTAMENTE EN EL OCÉANO O BAJO LA BASE DE UN GLACIAR ACELERANDO SU DESLIZAMIENTO HACIA EL MAR.

https://www.google.es/search?q=moulins+in+greenland&biw=1024&bih=719&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiOwN7oxMzRAhVBPhQKHbfrC24QsAQIIg#imgdii=kh7c7tG80OpOpM%3A%3Bkh7c7tG80OpOpM%3A%3BCsvXO9bgXI1WnM%3A&imgrc=kh7c7tG80OpOpM%3A

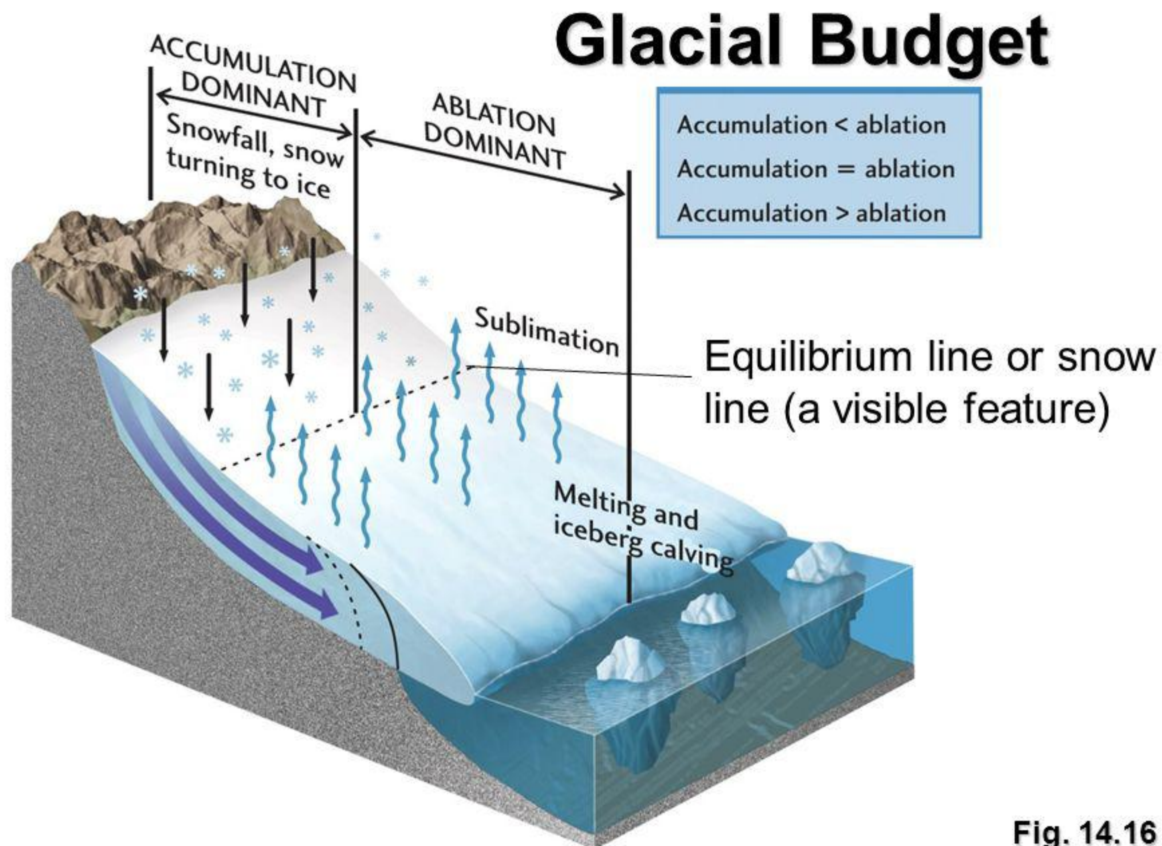
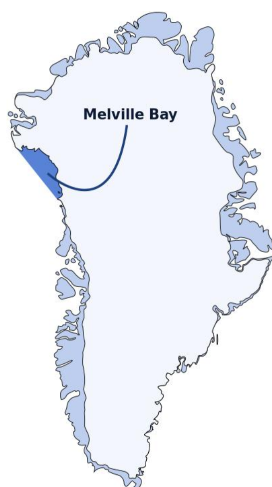


Fig. 14.16

El agua procedente del deshielo, que se almacena en grietas o lagos o fluye por ríos, desciende por los molinos hasta el lecho de roca; luego se desplaza entre este y la base de la gran masa de hielo. Puede ir directamente al mar o alcanzar la base de un glaciar. En este caso, por fusión y erosión del hielo de la base incrementa la separación entre esta y el lecho de roca, causando de esta manera un efecto de lubricación que rompe el equilibrio existente y acelera el descenso de la lengua glaciar hacia el mar. En los glaciares marinos de Groenlandia este efecto se ha incrementado mucho debido a la acelerada fusión del hielo superficial, lo que ha contribuido a un rápido aumento de la tasa de pérdida de masa de la capa de hielo. La figura corresponde a una situación en la que no se manifiesta este efecto, descendiendo la lengua glaciar a una velocidad normal y moderada.

Las principales formas de acumulación de masa en un glaciar son la precipitación directa de nieve, la escarcha (propia de los glaciares continentales, paso directo del vapor de agua del aire al estado sólido por las bajas temperaturas de los glaciares), el congelamiento de agua líquida, nieve transportada por vientos, nieve y hielo traídos por avalanchas, cencelladas y el congelamiento de agua en las capas basales. La pérdida de masa (ablación) se debe a la fusión del hielo, evaporación, sublimación (transformación directa del hielo o nieve en vapor de agua) y en el caso de los glaciares marinos por fragmentación en forma de icebergs (*calving*).

La diferencia entre ganancias y pérdidas de masa se denomina *balance de masa* (*glacial budget*). En la *zona de acumulación* *(accumulation dominant)*, el balance de masa es positivo, predomina la acumulación sobre la ablación. Esta zona es visible porque está cubierta por nieve del invierno anterior. En la *zona de ablación* *(ablation dominant)*, el balance de masa es negativo, predomina la ablación sobre la acumulación. En ella se encuentran expuestos el hielo y la nieve más antigua, debido a que la nieve del invierno anterior ha sido derretida. La línea imaginaria que separa ambas zonas se denomina *línea de equilibrio* *(equlibrium line)* o *línea de nieve* *(snow line)*.



Fragmentación de un glaciar en la Bahía de Melville formando icebergs, al noroeste de Groenlandia (imagen de satélite)

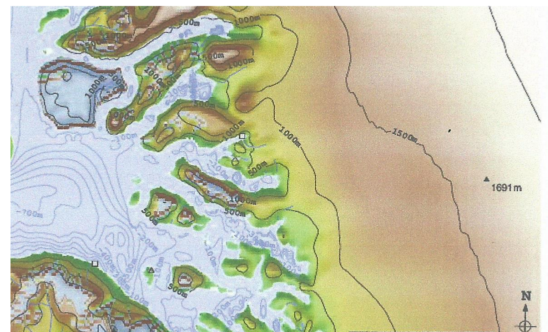
Fuente: WIKIMAPIA

http://wikimapia.org/#lang=en&lat=75.941564&lon=-59.541092&z=11&m=b&v=2

Figure. -A, Annotated Landsat 1 MSS image mosaic of Umanak Fjord complex, central West Greenland. Landsat images

En esta imagen, basada en fotografías tomadas por el satélite Landsat 1 MSS, puede verse el fiordo Umanak, situado en la costa oeste central de Groenlandia. Se aprecian los numerosos glaciares que desembocan en el fiordo. Fluyen de este a oeste, es decir, la capa de hielo de Groenlandia se encuentra a la derecha.

Hay que imaginar lo que puede ser el resultado de una aceleración de estos glaciares en su descenso al océano y, por supuesto, de otros muchos que no se encuentran en esta pequeña parte de la costa de Groenlandia.



Área de Ingnerit, en el fiordo de Umanak, Groenlandia

https://www.tide-forecast.com/locations/Ingnerit-Umanak-Fjord-Greenland



Posición del fiordo de Umanaq

https://www.google.es/maps/place/Uummannaq,+Groenlandia/@38.8328927,-88.4363867,2z/data=!4m5!3m4!1s0x4ef38b8d709f7d57:0xcf6d43802a38c6fc!8m2!3d70.6766574!4d-52.131260

Fotografía aérea de la parte más septentrional de la Tierra de Peary (Peary Land), aproximadamente 83º19´ de latitud norte y 40º de longitud oeste, vista desde el oeste. Los frentes de glaciar flotantes muestran la conocida apariencia de dientes de sierra característica de otros frentes glaciares del Norte de Groenlandia.

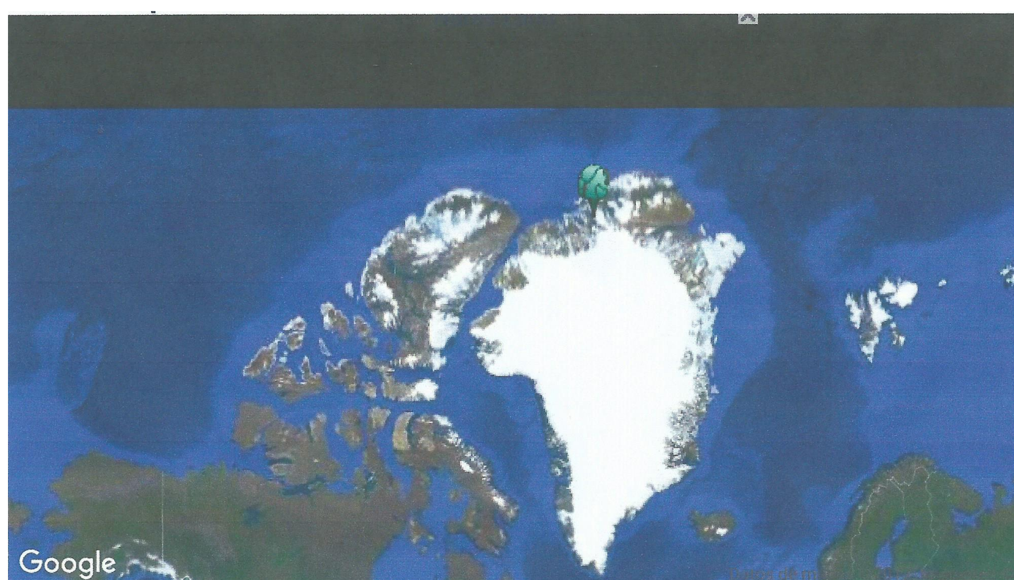


Puede apreciarse la fragmentación de la lengua glaciar en el mar formando icebergs.

Posición de la Tierra de Peary en el norte de Groenlandia

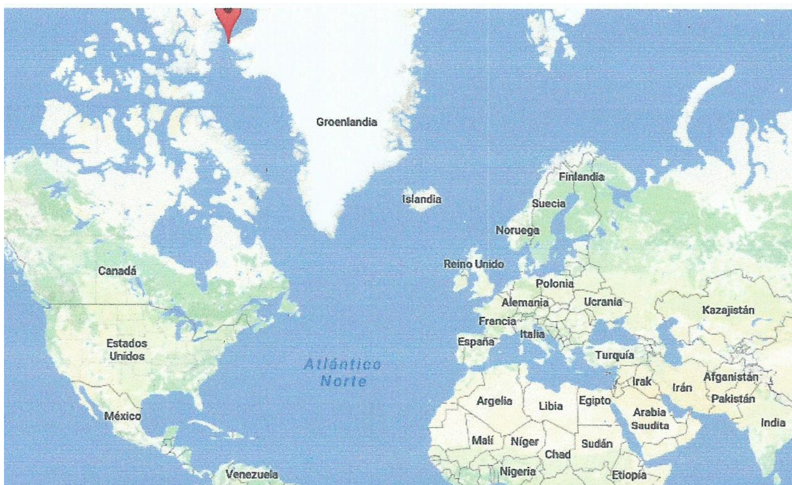


Fotografía aérea de un glaciar de montaña en la parte central de Nares Land, al norte de Groenlandia. La vista está tomada desde el noroeste. El bien definido frente y la lisa superficie son característicos de estos glaciares del norte de Groenlandia.



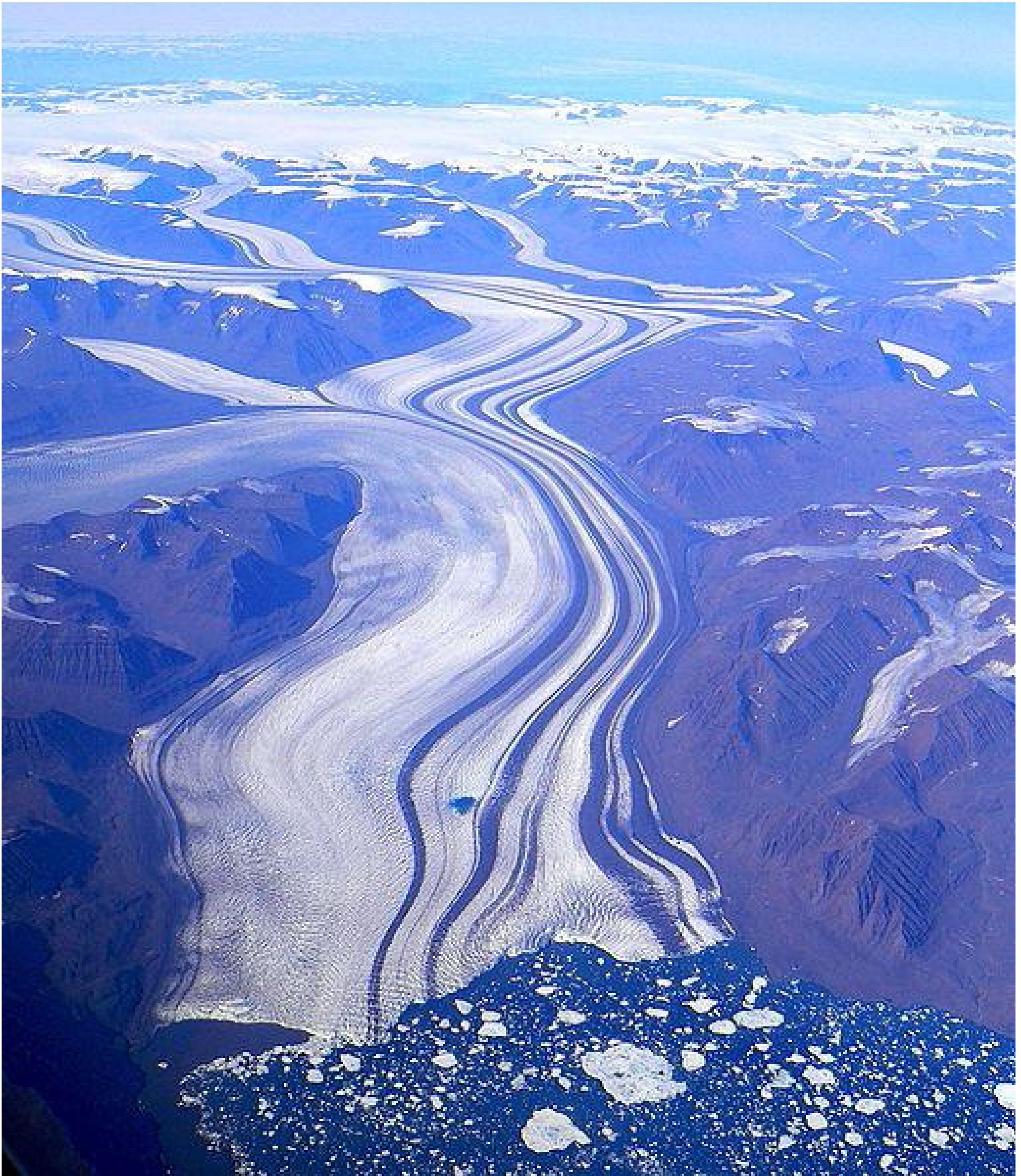
Posición de Nares Land (Tierra de Nares) en el norte de Groenlandia (indicada por la señal verde)

Fotografía aérea de la capa de hielo en la parte sur de Inglefield Land, tomada el 19 de julio de 1950, mirando hacia al noreste. Las dos lenguas glaciares en primer plano son Dodge Gletscher (glaciar Dodge) y Storm Gletscher (glaciar Storm), situadas norte y sur, respectivamente, de la punta del cabo Alexander.





POSICIÓN DEL CABO ALEXANDER EN LA COSTA NOROESTE DE GROENLANDIA



FRAGMENTACIÓN DE LA LENGUA DE UN GLACIAR DE GROENLANDIA AL LLEGAR AL OCÉANO

MAGNÍFICA FOTOGRAFÍA DE STEVE JURVETSON TOMADA EL 20 DE JULIO DE 2005

https://www.flickr.com/photos/jurvetson/29800121/



MAGNÍFICA FOTOGRAFÍA DE STEVE JURVETSON TOMADA EL 20 DE JULIO DE 2005

https://www.flickr.com/photos/jurvetson/33817388

IMPRESIONA PENSAR QUE CON EL TRANSCURSO DE LOS AÑOS TODO ESTE HIELO PUEDA IRSE AL MAR DEBIDO AL CALENTAMIENTO GLOBAL CUYO PRINCIPAL CAUSANTE HA SIDO EL MODELO DE DESARROLLO BASADO EN EL CAPITALISMO

Un verano sin hielo en el Ártico **EL PAÍS 8 de enero de 2017**

Manifestaciones de Peter Wadhams, catedrático de Física Oceánica de la Universidad de Cambridge:

«El calentamiento de la región avanza al doble de velocidad que en resto del planeta. El deshielo que genera se ha convertido en un elemento que impulsa el cambio climático.»

«[El Ártico] Una superficie que en aquel entonces tenía 8 millones de kilómetros cuadrados en septiembre (período de mayor retroceso), hoy ha pasado a tener durante ese mes solo 3-4 millones de kilómetros cuadrados, y el espesor medio del hielo se ha reducido a la mitad, por

lo que el hielo estival no tiene más que la cuarta parte del volumen que tenía en los años setenta del siglo pasado.»

«El calentamiento del Ártico está avanzando al doble o el triple de velocidad que en el resto del mundo...»

«La velocidad a la que se derrite la capa de hielo de Groenlandia ha aumentando enormemente en los últimos años, debido al aire más caliente que llega en verano procedente del Océano Ártico. Hasta los años ochenta, había poco deshielo veraniego en la isla y la subida del nivel del mar se atribuía, en parte, al calentamiento de los océanos –que hace que el agua sea menos densa y por tanto suba el nivel-- y, en parte, a la retirada de los glaciares de montaña en lugares como los Alpes y las Rocosas.»

«A partir de los ochenta, en la capa helada de Groenlandia empezaron a aparecer charcas de agua del deshielo, un agua que en gran parte se va por unos agujeros llamados molinos glaciares hasta las capas más profundas o hasta el lecho de roca. Los glaciares de desagüe empezaron a sufrir una aceleración facilitada por el agua del deshielo hasta el punto de que, en la actualidad, algunos avanzan al doble de velocidad y depositan mucho más hielo en el mar, en forma de icebergs. En 2012, un año de récord, hubo un momento, en el mes de julio, en el que el 97% de la capa de hielo de Groenlandia estaba cubierta de agua de deshielo.»

«[...] estamos ante el empobrecimiento espiritual de la Tierra. Nuestra codicia y nuestra estupidez nos han arrebatado la belleza del hielo marino del océano Ártico que nos protegía frente a los efectos de los extremos climáticos. Ahora necesitamos actuar urgentemente si queremos salvarnos de las consecuencias.»

http://climate.nasa.gov/news/2433/

NASA CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL   CONSTANTES VITALES DEL PLANETA

Noticias 21 de abril de 2016

"Nuevos mapas señalan el riesgo de deshielo de los glaciares de Groenlandia", por Carol Rasmussen



Carol Rasmussen, del Equipo de Noticias de las Ciencias de la Tierra de la NASA

En el siguiente artículo, de Carol Rasmussen, se expone que muchos de los glaciares de Groenlandia se encuentran en mayor riesgo de fusión por la base de lo que anteriormente se había pensado, de acuerdo con los nuevos mapas batimétricos de la costa de Groenlandia creados por un equipo internacional de investigación.

Las investigaciones realizadas por un equipo internacional entre 2007 y 2014 han puesto de manifiesto que la profundidad de las aguas del océano que rodean a muchas lenguas de los glaciares costeros de Groenlandia es 600 metros, incluso 1.000 metros más de lo calculado en base a anteriores estudios batimétricos realizados a varias millas de la costa. Se llegó a conclusiones erróneas sobre dicha profundidad al suponer que, como es lo frecuente, el fondo del lecho del mar ascendería a medida que se aproximara a la costa. Pero en muchas áreas costeras de Groenlandia no sucede así. La consecuencia es que las lenguas glaciares en su desembocadura se encuentran en contacto por debajo de los 300 metros de profundidad con las aguas cálidas y saladas provenientes del océano, cuya temperatura actual supera en más de 3 ºC a la de la capa superior, más fría y dulce, procedente de las escorrentías del Ártico. Esta es una de las explicaciones que se ha encontrado al rápido retroceso glaciar en Groenlandia detectado desde principios del presente siglo. Retroceso que se irá progresivamente acelerando, pues se proyecta que la temperatura del océano a finales del siglo presente será 2 ºC superior a la actual.

[NOTA.- Resumen nuestro]

Instituciones colaboradoras en la investigación:

Universidad de California, Irvine, (UCI)

Instituto Tecnológico de California (Caltech) y el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL) de la NASA (NASA's Jet Propulsion Laboratory), Pasadena, California.

Operación IceBridge de la NASA y los satélites Landsat del Servicio Geológico (Geological Survey) de la NASA/U.S.

Universidad de Durham y la Universidad de Cambridge, ambas en el Reino Unido.

GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research (Centro Helmholtz GEOMAR de Investigación Oceánica), Kiel, Alemania.

Universidad de Texas en Austin (EE.UU.).

http://climate.nasa.gov/news/2433/

NASA CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL   CONSTANTES VITALES DEL PLANETA

Noticias 21 de abril de 2016

Nuevos mapas señalan el riesgo de deshielo de los glaciares de Groenlandia

Carol Rasmussen

NASA'a Earth Science News Team (Equipo de Noticias de las Ciencias de la Tierra de la NASA)

Traducción nuestra

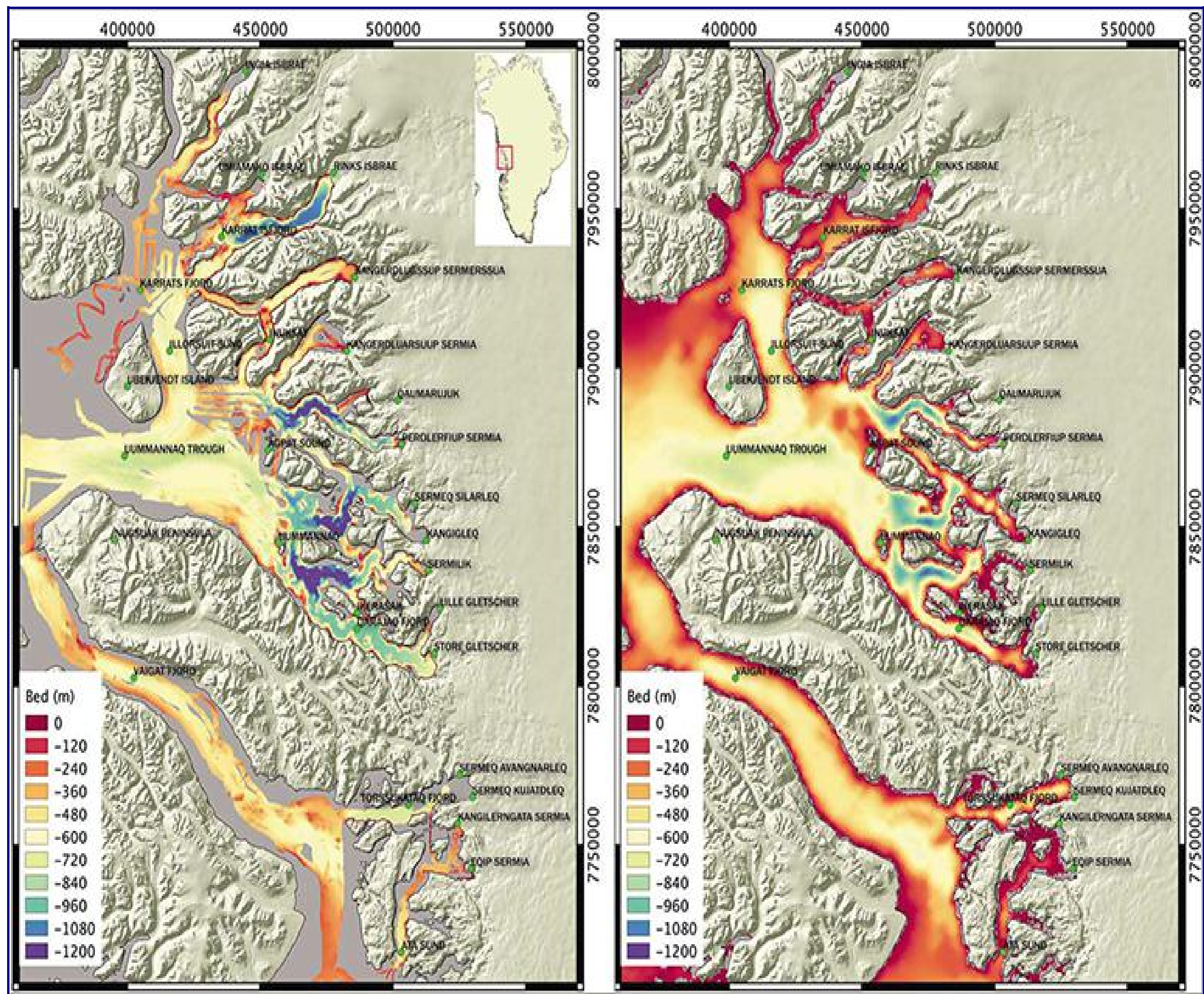


Los nuevos mapas muestran que el fondo del mar bajo el glaciar Store (en la imagen) es casi 2.000 pies (600 metros) más profundo de lo que se había creído anteriormente. Crédito: NASA/JPL-Caltech/Ian Fenty.

Muchos de los grandes glaciares de Groenlandia se encuentran en mayor riesgo de fusión por la base de lo que anteriormente se había pensado, de acuerdo con los nuevos mapas del fondo del mar en torno a Groenlandia creados por un equipo internacional de investigación. Como otros recientes hallazgos de investigación, los mapas destacan la crucial importancia que tiene estudiar el relieve del lecho marino bajo las aguas costeras de Groenlandia para una mejor comprensión y predicción del ascenso del nivel del mar. Investigadores de la Universidad de California, Irvine, el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA (NASA's Jet Propulsion Laboratory), Pasadena, California; y otras instituciones de investigación integraron todas las observaciones que sus grupos habían hecho durante estudios a bordo de naves del lecho marino en los fiordos Uummannaq y Vaigat, en el oeste

de Groenlandia, entre 2007 y 2014, con los correspondiente datos de la Operación IceBridge de la NASA y los satélites Landsat del Servicio Geológico (Geological Survey) de la NASA/U.S. Utilizaron la combinación de datos para elaborar mapas completos del fondo del océano en torno a 14 glaciares de Groenlandia. Sus resultados muestran que las anteriores estimaciones de la profundidad del océano en esta área eran del orden de 1.000 pies (300 metros) inferiores a las reales.

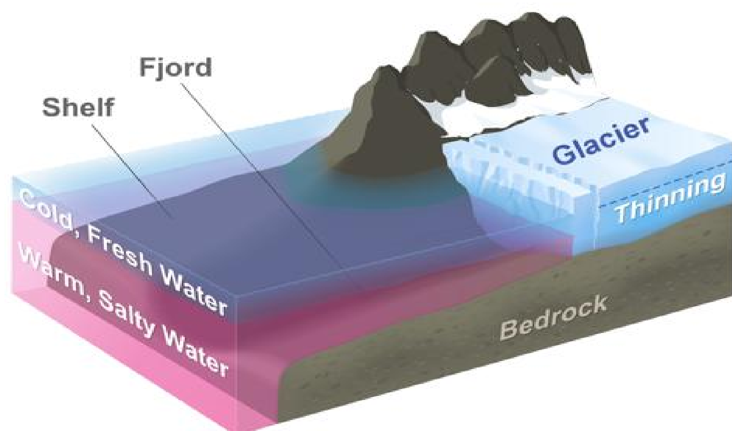
¿Por qué es esto importante? Porque los glaciares que fluyen al océano se deshielan no solo por arriba, cuando son calentados por el sol y el aire, sino también por debajo, cuando son calentados por el agua.



Una comparación del mapa recientemente cartografiado del área del fiordo Uummannaq (izquierda) y otro antiguo (derecha). Las áreas en rojo indican aguas poco profundas; en azul y púrpura, más profundas. Credit: UCI/NASA/JPL-Caltech. En la mayor parte del mundo, un fondo del mar más profundo no supondría una gran diferencia en cuanto a la tasa de fusión, porque habitualmente el agua del océano es más cálida cerca de la superficie y más fría a mayor profundidad. Pero en Groenlandia es exactamente lo opuesto. El agua superficial hasta una profundidad de mil pies (300 m) procede en su mayor parte de las escorrentías del Ártico. Esta gruesa capa de agua glacial y más dulce está a una temperatura de 33 a 34 grados Fahrenheit (1 ºC). Debajo se encuentra una capa de agua del océano más salada y caliente. Esta capa está actualmente a más de 5 grados Fahrenheit (3 ºC) que la capa superficial, y los modelos climáticos predicen que su temperatura sufrirá un aumento de 3,6 grados Fahrenheit (2 ºC) al final de este siglo.

Cerca del 90 por ciento de los glaciares de Groenlandia desembocan en el océano, incluyendo los

recientemente cartografiados. Haciendo estimaciones sobre la probable rapidez de fusión de estos glaciares, los investigadores han confiado en antiguos mapas del lecho marino que muestran los glaciares fluyendo a mares fríos y poco profundos. El nuevo estudio pone de manifiesto que los antiguos mapas eran erróneos.



El diagrama de la izquierda representa un glaciar típico de Groenlandia. La profundidad del agua en la desembocadura de muchos glaciares es mayor de lo que se creía, 600 hasta 1.000 m más.

Debajo de la capa fría (cold) y dulce (fresh) (en azul) próxima a la superficie de unos 300 m de espesor, procedente de las escorrentías del Ártico, una capa de agua cálida (warm) y salada (salty) (en púrpura rojizo), procedente del océano, penetra en el fiordo derritiendo el borde del glaciar. El adelgazamiento (thinning) de la lengua glaciar facilita su fragmentación en el océano y la aceleración de su avance. Debajo se encuentra el lecho de roca (bedrock) (en gris oscuro). [Imagen y leyenda agregados]

FUENTE: Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA, Instituto Tecnológico de California, "About the OMG mission" (Sobre la misión OMG). https://omg.jpl.nasa.gov/portal/

"Aunque esperábamos encontrar fiordos más profundos de lo que mostraban los anteriores mapas. la diferencia es enorme", manifestó Eric Rignot de la UCI y JPL, autor principal de un artículo sobre la investigación. "Las medidas llegan a cientos de metros, incluso un kilómetro [3.280 feet] en cierto lugar". La diferencia significa que los glaciares entran realmente en contacto con aguas más calientes y profundas, que los hacen más vulnerables a una fusión más rápida al ser calentados por el océano.

El coautor Ian Fenty del Laboratorio de Propulsión a Chorro (Jet Propulsio Laboratory, JPL) señaló que los mapas antiguos se basaban en escasas medidas registradas a varias millas mar adentro. Los cartógrafos supusieron que el fondo del océano se curvaría hacia arriba al aproximarse a la costa. Este supuesto es razonable, pero se ha demostrado incorrecto en relación con Groenlandia.

Rignot y Fenty son coinvestigadores de la campaña de monitoreo de cinco años "Los Océanos Deshelando Groenlandia" de la NASA [NASA´s five years Oceans Melting Greenland (OMG)], que está creando cartas similares del lecho del mar de la línea de costa completa de Groenlandia. Fenty manifestó que el primer crucero cartográfico de la OMG del último verano llegó a resultados similares. "Casi todos los glaciares que investigamos se encontraban en aguas mucho, mucho más profundas de lo que mostraban los mapas".

Las investigadores encontraron también que además de ser en general más profundas, la profundidad del fondo del mar es altamente variable. Por ejemplo, el nuevo mapa reveló que dos glaciares, situados uno al lado de otro, tenían una profundidad del fondo que variaba alrededor de 1.500 pies (500 metros). "Estos datos nos ayudaron a interpretar mejor porqué algunos glaciares habían reaccionado al calentamiento del océano mientras que otros no", dijo Rignot.

La falta de mapas detallados ha obstaculizado a los que construyen modelos del clima, como Fenty, que están intentando predecir el deshielo de los glaciares y su contribución al ascenso del nivel del mar. "La primera vez que observé esta área y vi qué pocos datos había disponibles, sencillamente, me eché las manos a la cabeza", manifestó Fenty. "Si no se conoce la profundidad del lecho del mar, no es posible desarrollar una simulación de la circulación oceánica que tenga sentido".

Los mapas están publicados en un artículo titulado "Bathymetry data reveal glaciers vulnerable to ice-ocean interaction in Uummannaq and Vaigat glacial fjords, west Greenland" (Datos batimétricos revelan la vulnerabilidad de los glaciares a la interacción hielo-océano en los fiordos de Uummannaq y Vaigat, en el oeste de Groenlandia), en la revista *Geophysical Research Letters.* Las otras instituciones colaboradoras son la Universidad de Durham y la Universidad de Cambridge, ambas en el Reino Unido.; GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research (Centro Helmholtz GEOMAR de Investigación Oceánica), Kiel, Alemania; y la Universidad de Texas en Austin (EE.UU.).

Para más información sobre el OMG, visitar:

https://omg.jpl.nasa.gov/portal/

Para más información sobre las actividades de las Ciencias de la Tierra de la NASA (NASA´s Earth science activities), visitar:

http://www.nasa.gov/earth

Medios de comunicación

Alan Buis

Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California

818-354-0474
Alan.buis@jpl.nasa.gov

Brian Bell

University of California, Irvine

949-824-8249
bpbell@uci.edu

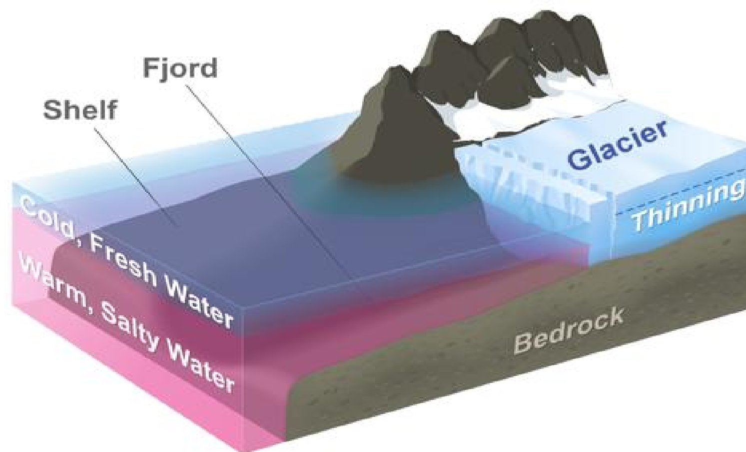
APÉNDICE NUESTRO

FUENTE: NASA Jet Propulsion Laboratory   California Institute of Technology

https://omg.jpl.nasa.gov/portal/

Sobre la Misión OMG

El ascenso global del nivel del mar será uno de los principales problemas medioambientales del siglo XXI. La misión los "Océanos Deshelando Groenlandia" [Oceans Melting Greenland (OMG)] allanará el camino para mejores estimaciones del ascenso del nivel del mar centrándose en la pregunta: ¿En qué medida están los océanos fundiendo por debajo el hielo de Groenlandia? Durante una campaña de cinco años, OMG observará las temperaturas variables del agua de la plataforma continental que rodea Groenlandia, y cómo los glaciares marinos reaccionan a la presencia del agua cálida y salada del Atlántico. La complicada geometría del fondo del mar gobierna las corrientes de la plataforma y con frecuencia determina si el agua del Atlántico puede penetrar en los estrechos fiordos e interaccionar con los glaciares costeros. A causa de que el conocimientos de estas trayectorias es un componente crucial para modelar la interacción entre el océano y la capa de hielo, OMG facilitará también mediciones mejoradas de la forma y profundidad del lecho del mar en regiones clave.



El diagrama de arriba representa un glaciar típico de Groenlandia. Debajo de la capa fría y dulce próxima a la superficie [de las escorrentías del Ártico], una capa de agua cálida y salada [procedente del océano] penetra en el fiordo derritiendo el borde del glaciar [thinning]. La misión OMG medirá anualmente el volumen y la extensión de esta capa y lo relacionará con el adelgazamiento y retroceso de los glaciares.

La misión OMG utilizará el G-III para sobrevolar el glaciar y el Interferómetro para la Topografía de la Superficie de Hielo (Ice Surface Topography Interferometer) (GLISTIN-A) para obtener durante el verano medidas de elevación de alta resolución y precisión de los glaciares costeros de Groenlandia. Estudios anuales con el GLISTIN medirán el adelgazamiento y retroceso glaciar con respecto a la temporada anterior. Una segunda campaña aérea, también a bordo del G-III de la NASA, tendrá lugar cada año durante el verano para desplegar 250 sondas desechables de temperatura y salinidad a lo largo de la plataforma continental a fin de medir el volumen y extensión del agua cálida y salada del Atlántico. Estos datos, junto con nuevas y esenciales observaciones de la gravedad marina aérea y observaciones a bordo de buques de la geometría del fondo del mar proporcionarán un conjunto revolucionario de datos para modelar las interacciones océano/aire y conducirán a estimaciones mejoradas del ascenso global del nivel del mar.

https://earthdata.nasa.gov/user-resources/sensing-our-planet/a-submarine-retreat

Datos de la Tierra NASA

Una regresión submarina

Nuevos mapas llegan hasta el fondo de los glaciares de desagüe de Groenlandia

Jane Beitler



Jane Beitler, Directora de Comunicación de la Ciencia, Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielo y Centro de Datos Mundiales de Glaciología, Universidad de Colorado, Boulder,

En el siguiente artículo, de Jane Beitler, se expone otro de los recientes y sumamente alarmantes hallazgos que pronostican la progresión del acelerado deshielo de Groenlandia.

El equipo de Mathieu Morlighem, profesor adjunto de la Ciencia del Sistema Terrestre, Universidad de California, Irvine, cofundador del Modelo de Sistema de la Capa de Hielo, combinando los escasos datos obtenidos mediante radares aerotransportados con los de alta resolución sobre el movimiento del hielo registrados por el Radar satelital de Apertura Sintética Interferométrica, han cartografiado mapas de la elevación del lecho de roca de numerosos glaciares de Groenlandia. Se ha descubierto que estos lechos se prolongan en el interior de la isla por más de 100 kilómetros, como el del glaciar Humboldt que recorre en dirección norte 140 kilómetros; las profundidades pueden alcanzar los 800 metros, como en el glaciar de Petermann; y el ancho, hasta los 10 kilómetros. La consecuencia es que el océano, con sus aguas cálidas, podrá seguir al glaciar en su retroceso durante muchos más de los 10 kilómetros que se creía, y de esta manera contribuir a su acelerada fusión y regresión por un largo período de tiempo. Si a esto se añade el progresivo calentamiento de las aguas oceánicas, se comprende los efectos que esto podrá tener sobre la aceleración del deshielo de Groenlandia.

[NOTA.- Resumen nuestro.]

https://earthdata.nasa.gov/user-resources/sensing-our-planet/a-submarine-retreat

Datos de la Tierra NASA

Una regresión submarina

Nuevos mapas llegan hasta el fondo de los glaciares de desagüe de Groenlandia

Jane Beitler

13 de octubre de 2015

Traducción nuestra.

En la isla mayor del mundo se asienta la segunda mayor masa de hielo. En verano, el hielo enfila el océano cuando el calor del sol funde la superficie de la capa de hielo de Groenlandia en charcas azul turquesa. El agua de fusión se filtra a través de cavidades y fluye al exterior en rápidas corrientes. En los verdes fiordos que rodean la costa, placas de hielo se zambullen desde los frentes glaciares, que son empujados hacia fuera por el lento flujo de los glaciares que sirven de importantes drenajes para la descarga de hielo.

Un planeta más cálido está rompiendo el equilibrio entre la acumulación y pérdida de hielo en Groenlandia. Vistosamente, el rápido glaciar Jakobshavn fue espectacularmente filmado cuando fragmentaba en el océano 1,8 millas cúbicas [7,5 km^3] de hielo en 2012, y se cree que produjo el iceberg que hundió el Titanic. Menos vistosamente, glaciares como el Glaciar Upernavik pueden estar ocultando secretos acerca del futuro de la capa de hielo. Investigadores, como el productor de modelos para capas de hielo Mathieu Morlighem, están escudriñando el lecho de roca que se encuentra bajo el fondo de los glaciares e invalidando supuestos sobre cómo la capa de hielo de Groenlandia puede responder a un clima más cálido.

Esta vista del glaciar Steensby en el norte de Groenlandia fue tomada durante un vuelo de estudio de la Operación IceBridge el 26 de abril de 2013. (Cortesía: NASA/M. Studinger)



Un viaje del glaciar

Con una antigüedad de más de 100.000 años y un espesor de hasta dos millas [3,2 km], la capa de hielo ha ido menguando en décadas recientes. Contiene el hielo suficiente como para elevar el nivel del mar veinticuatro pies [7,3 m], si se fundiera la totalidad.

Si el calentamiento es el pedal del acelerador, la topografía puede ser los frenos. Groenlandia tiene más de 200 valles y cañones que canalizan el hielo glaciar desde el elevado interior de la isla hasta la costa. Los glaciares se mueven lentamente en los valles serpenteantes, y más rápido en los rectos. Sin embargo, el hielo de los glaciares casi siempre oculta el terreno que influencia este flujo.

Cuando la base del glaciar, o el lecho de roca que le sirve de apoyo, está bajo el nivel del mar al alcanzar la costa, el hielo puede entrar en contacto con una capa de agua cálida del Atlántico que se encuentra a mil pies [304,8 m] de profundidad, acelerándose así la descarga del hielo. Pero ¿cuántos de estos fondos de valle se encuentran bajo la superficie del océano, y hasta qué distancia corriente arriba? Los datos existentes describen los valles de Groenlandia como poco profundos.

"Mucha gente acostumbraba a decir que la capa de hielo de Groenlandia no es tan vulnerable al cambio climático porque al retroceder los glaciares unos diez kilómetros [seis millas] tierra adentro perderían contacto con el océano, y de esta manera se detendría la fusión que vemos hoy día", dijo Morlighem. Allí, la elevación del fondo del valle llegaría más arriba del nivel del mar, lo que detendría el océano en su seguimiento del glaciar valle arriba. Sin embargo, los investigadores descubrieron que algo no andaba bien al no ser capaces los modelos de la capa de hielo de simular las tasas actuales de fusión y adelgazamiento de la capa de hielo.



Estos fiordos situados a lo largo del extremo sudoriental de Groenlandia son profundas depresiones que fueron excavadas por antiguos glaciares. Después que los glaciares retrocedieran, los fiordos se llenaron con agua del océano. (Cortesía: NASA)

Basta de hacer krigueaje del lecho de roca

Morlighem construye modelos de capas de hielo, con los que utilizando datos simula cómo la capa de hielo respondará a cambios medioambientales. Admite que se basa en los trabajos de Jonathan Bamber, de la Universidad de Bristol. Desde los 90, Bamber ha empleado radar aerotransportado para estudiar la geometría de los valles glaciares de Groenlandia. En 2013, el equipo de Bamber recopiló miles de millas de líneas de vuelo de un radar que penetra en el hielo registradas sobre la capa de hielo como parte de la Operación Icebridge de la NASA. Produjeron un conjunto de datos de elevación del lecho rocoso de Groenlandia, extendiéndose hasta las plataformas continentales.

Cuando recopilaron los datos, descubrieron un gigantesco cañón que se extendía en dirección norte desde la región central de la isla hasta el fiordo del glaciar Petermann y el Océano Ártico. Apodado el "Gran Cañón de Groenlandia", tiene una longitud de más de 750 kilómetros (466 millas), una profundidad que llega hasta los 800 metros (2.625 pies), y un ancho de 10 kilómetros (6,2 millas), por lo que resulta ser el mayor cañón descubierto en la Tierra. Piensan que es un importante canal que drena el hielo y el agua de fusión fuera de la isla. Sin cañones como este, el agua de fusión se acumularía bajo la capa de hielo y formaría lagos subglaciales, como los que se han encontrado bajo la capa de hielo de la Antártida. Groenlandia no tiene lagos bajo la capa de hielo.

Todavía quedaban en el aire importantes preguntas, y los datos obtenidos por radar eran muy escasos para darles una respuesta. "Originalmente el mapa topográfico del lecho se obtuvo con los datos registrados a lo largo de las líneas de vuelo de la Operación IceBridge. Se trataba de medidas de puntos. De los puntos intermedios no teníamos nada", dijo Morlighem. "Se aplicaba el krigeaje,

una forma de promediar hábilmente en base a los datos próximos". Pero como se disponían de observaciones demasiado escasas, el krigeage tendía a suavizar y eliminar características direccionales del terreno, como valles y depresiones, por lo que los modelos no podían simular con exactitud el espesor del hielo y su velocidad.

"Por ello los antiguos mapas de que disponíamos no eran lo bastante buenos para que los modelos pudieran funcionar con una mayor resolución", manifestó Morlighem. Además, grietas, terreno rugoso y cavidades con agua líquida confundían el radar, frustrando los intentos de interpolar las escasas medidas disponibles. "Teníamos que diseñar un nuevo método", dijo.



El frente de fragmentación del glaciar Petermann en el norte de Groenlandia visto desde el avión P-3B de la NASA durante la Operación IceBridge. En julio de 2012, un iceberg de un tamaño doble que Manhattan se separó del glaciar Petermann y comenzó a alejarse flotando en el océano. Después de esta fragmentación, la línea donde el iceberg se desprendió pasó a ser el nuevo borde frontal del glaciar, o frente de fragmentación, por lo que este de hecho quedó desplazado varios kilómetros corriente arriba. Diversos glaciares de valle fluyen ahora hacia el fiordo, cubierto por el agua del mar. (Cortesía: NASA/M. Studinger)

Un juego de suma cero

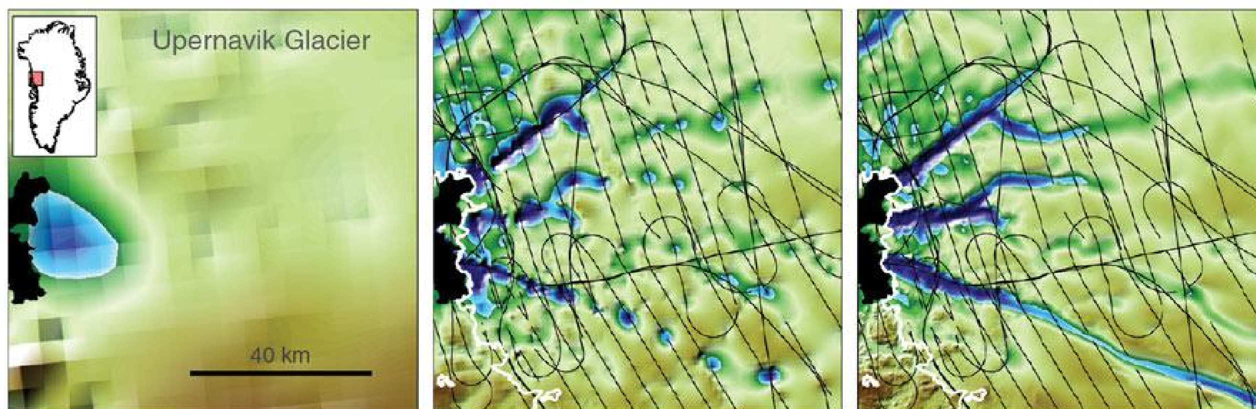
Eric Rignot, de la Universidad de California Irvine, que trabajaba en la investigación, manifestó: "Durante años hemos lidiado con el problema de carecer del espesor del hielo glaciar. Animé a Mathieu para que adoptara una versión más moderna y potente del método de conservación de la masa para el cálculo del espesor". La conservación de la masa asume que nunca se pierde masa, pero toma en consideración el registro de entradas (inputs) y salidas (outputs), tales como la acumulación de nieve, velocidad y fusión del hielo. Para calcular el volumen del hielo es necesario conocer su espesor, y para obtener este se requiere saber la elevación de la superficie y del fondo del hielo. La altitud del fondo posibilitaría obtener información sobre cuál sería la distancia límite a la que el océano podría alcanzar la corriente glaciar en su retroceso. Faltaban algunos de estos detalles.

El equipo de Morlighem utilizó el método de conservación de la masa para incorporar el factor de la elevación del lecho. Combinaron los escasos datos obtenidos mediante radares aerotransportados con los de alta resolución sobre el movimiento del hielo registrados por el Radar satelital de Apertura Sintética Interferométrica (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR acrónimo en inglés). Entonces pudieron calcular con mayor exactitud el espesor del hielo al tener en cuenta la velocidad del mismo. La topografía del lecho pudo obtenerse sustrayendo este espesor de la altura de la superficie del hielo calculada con el modelo digital de elevación.

Sus resultados muestran la abundante presencia de profundas y muy erosionadas depresiones del lecho a lo largo de los bordes de la capa de hielo, que generalmente están asentadas bajo el nivel del

mar y están surcadas por hielo de flujo rápido. Estas depresiones se extienden en el interior por más de 100 kilómetros (62 millas), no los 10 kilómetros (6,2 millas) que se creía. La longitud total de algunas de estas depresiones del lecho no habían sido nunca detectadas por las anteriores sondas de radar.

Bamber manifestó: "El trabajo que Mathieu y este grupo están haciendo es fantástico. Abordan uno de los problemas que sabíamos que existía. Mathieu está trabajando sobre problemas en relación con el borde de la capa de hielo. No funcionaría en el interior de la capa de hielo y donde no existiera este claro flujo direccional".



Estas imágenes muestran el progreso de los métodos para estudiar la elevación del lecho de roca bajo la capa de hielo de Groenlandia. La primera por la izquierda muestra la topografía del lecho obtenida en 2001 con radar aerotransportado. La imagen del centro muestra los resultados mejorados mediante radar de penetración en el hielo durante los vuelos de la Operación IceBridge de la NASA (OIB por sus siglas en inglés). La imagen de la derecha presenta la topografía del lecho obtenida por aplicación de la técnica de conservación de la masa. Esta técnica produce datos más suaves a lo largo de las líneas de vuelo, y conserva el relieve alargado de los valles. También funciona con medidas muy escasas. El color azul indica partes del lecho que están bajo el nivel del mar. Las línea negras de la imagen central y de la derecha señalan las líneas de vuelo de la OIB. Los datos también revelan que la topografía del lecho se encuentra por debajo del nivel del mar durante todo el recorrido hasta la costa. (Cortesía: M. Morlighem *et al*)

Profundamente cincelados

Los glaciares de Groenlandia de rápido desplazamiento, tales como el glaciar Jakobshavn, siguen siendo importantes canales de descarga del hielo. Sin embargo, esta nueva visión de profundos valles submarinos arrojan una luz diferente sobre la reducción a largo plazo de la capa de hielo.

"Pensábamos que en muchos lugares el lecho se encontraba por encima del nivel del mar, pero realmente está por debajo", dijo Morlighem. Por primera vez, por ejemplo, pudieron ver que el lecho de las tres principales ramificaciones del glaciar Upernavik, en el oeste de Groenlandia, corre bajo el nivel del mar durante más de 80 a 140 kilómetros (50 a 87 millas) por el interior de la isla. El lecho submarino del glaciar Humboldt recorre en dirección norte 140 kilómetros (87 millas) por el interior. Morlighem manifestó: "Sabemos ahora que el deshielo de Groenlandia no va cesar en una década o algo así. Continuará deshelándose. Al tiempo que el hielo retroceda, mantendrá el contacto con el océano porque este lo seguirá tierra adentro".

Los datos de radar originales y el nuevo conjunto de datos del lecho de roca están archivados para ulteriores estudios en el Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielo Centro de Archivos Activos Distribuidos de la NASA (NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center). "Todos estos esfuerzos conducirán finalmente a conjuntos de datos modernos de las capas de hielo y proporcionan lo que los constructores de modelos necesitan para proyectar capas de hielo en un mundo recalentado. Estos son resultados cruciales y oportunos", Rignot manifiesta. "Los valles submarinos hacen los glaciares más susceptibles de retrocesos rápidos y prolongados. Supone un cambio radical en relación con el nivel del mar. El ascenso del nivel del mar debido a

Groenlandia será más elevado de lo que proyectan los actuales modelos".

Referencias

ALOS PALSAR data 2008-2009 (JAXA, METI). Retrieved from the Alaska Satellite Facility SAR DAAC, https://www.asf.alaska.edu.

Bamber, J. L., J. A. Griggs, R. T. W. L. Hurkmans, J. A. Dowdeswell, S. P. Gogineni, I. Howat, J. Mouginot, J. Paden, S. Palmer, E. Rignot, and D. Steinhage. 2013. A new bed elevation dataset for Greenland. *The Cryosphere* 7: 499–510, doi:10.5194/tc-7-499-2013.

Bamber, J. L., M. J. Siegert, J. A. Griggs, S. J. Marshall, and G. Spada. 2013. Paleofluvial mega-canyon beneath the central Greenland Ice Sheet. *Science* 341(6149): 997–999, doi:10.1126/science.1239794.

Leuschen, C., P. Gogineni, F. Rodriguez-Morales, J. Paden, and C. Allen. 2010, updated 2015. IceBridge MCoRDS L2 Ice Thickness. Boulder, CO, USA: NASA DAAC at the National Snow and Ice Data Center. http://dx.doi.org/10.5067/GDQ0CUCVTE2Q.

Morlighem, M., E. Rignot, J. Mouginot, H. Seroussi, and E. Larour. 2014. Deeply incised submarine glacial valleys beneath the Greenland ice sheet. *Nature Geoscience* 7: 418–422, doi:10.1038/ngeo2167.

Morlighem, M., E. Rignot, J. Mouginot, H. Seroussi, and E. Larour. 2015. IceBridge BedMachine Greenland. Version 2. Boulder, CO, USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. http://dx.doi.org/10.5067/AD7B0HQNSJ29.

RADARSAT-1 data 2008-2009 (CSA). Retrieved from the Alaska Satellite Facility SAR DAAC, https://www.asf.alaska.edu.

Para más información

NASA Alaska Satellite Facility Synthetic Aperture Radar Distributed Active Archive Center (ASF SAR DAAC)

NASA National Snow and Ice Data Center DAAC

NASA Operation IceBridge

EL PUENTE SOBRE EL RÍO WATSON DE GROENLANDIA FUE DESTRUIDO POR EL AGUA DE FUSIÓN EL 12 DE JULIO DE 2012

Vídeo:The bridge at Watson River destroyed July 12, 2012 (El puente sobre el río Watson destruido el 12 de julio de 2012)

https://www.youtube.com/watch?v=RauzduvIYog

SUTRON

http://www.sutron.com/product/surface-water-tracker-system-kangerlussuaq-bridge-greenland/

Agua superficial. Sistema de seguimiento del puente de Kangerlussuaq

Proyecto del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. Laboratorio de Investigación e Ingeniería de Regiones de Clima Frío (CRREL) EXTRACTO

En julio de 2012, fue noticia la fusión superficial en la casi totalidad de la capa de hielo de Groenlandia que causó graves inundaciones en Kangerlussuak, localidad en la que se encuentra el aeropuerto comercial de mayor tráfico de la isla. Dos canales del río Watson, que discurren por la población y bajo el puente de Kangerlussuak, se fusionaron en un solo curso de agua que posteriormente se intensificó convirtiéndose en una enorme inundación que destruiría el puente por completo [...]



Un tractor es arrastrado por las aguas de fusión



El puente fue construido en los 50, pero no para soportar las inundaciones de primavera y verano de los últimos 12 años.

Situación de Kangerlussuak en el suroeste de Groenlandia

Kangerlussuaq se encuentra en una planicie en la extremidad del fiordo Kangerlussuaq de 190 km de longitud.



Vista de Kangerlussuaq. En la parte superior, el aeropuerto. En la parte inferior, el río Watson que lleva las aguas de deshielo de la capa de Groenlandia; el río fluye de derecha a izquierda. Puede observarse en la parte central, abajo, el puente antes de ser destruido en julio de 2012 por la gran fusión de la capa de hielo.

http://igertgreenland.blogspot.com.es/



Fotografía tomada el 31 de mayo de 2012, antes de la enorme inundación. Puede verse el puente (bridge) en la parte central de la imagen. Más abajo, los dos canales del río Watson. A la izquierda, el aeropuerto. El río fluye de derecha a izquierda.



Fotografía del 12 de julio de 2012. Puede apreciarse el gran incremento del caudal y cómo los dos canales del río Watson se han fusionado. Partes del puente fueron destruidas.

Las fotografías fueron tomadas por el Advanced Land Imagery (ALI) del satélite Earth Observing-1 (EO-1) de la NASA. (NASA Earth Observatory image created by Jesse Allen and Robert Simmon, using Advanced Land Imager data from the NASA EO-1 team. Caption by Michon Scott)